

Kurzfassung der Dissertation:

Systemkonzepte für die elektrische Impedanztomografie zur schnellen Messung an Mehrphasenströmungen

Die vorliegende Arbeit beschreibt Systemkonzepte für die elektrische Impedanztomografie (EIT) mit hoher Messrate in Kombination mit hoher Messdynamik. Dies ermöglicht die orts aufgelöste Analyse von elektrischen Eigenschaften (Permittivität und elektrische Leitfähigkeit) und somit die räumliche Visualisierung von Mehrphasenströmungen, bestehend aus einer inhomogenen Fluidverteilung, bei schnell veränderlichen Prozessen.

In diesem Rahmen wurden sowohl ein galvanisch als auch ein kapazitiv gekoppeltes EIT-System entwickelt. Da zur Rekonstruktion der Fluidverteilung eine Vielzahl von Anregungen und Messungen an der Umrandung des Messgebiets durchgeführt werden müssen, ist die Messrate ein kritischer Parameter. Zur Steigerung der Messrate wurden parallele Vielfachzugriffsverfahren (Frequenz- und Codemultiplexverfahren) untersucht und auf den Messsystemen implementiert. Durch die Kombination aus parallelem Systemdesign und parallelen Vielfachzugriffsverfahren konnten Bildraten von bis zu 1000 Messzyklen pro Sekunde erzielt werden. Die entwickelten Systeme heben sich dabei bezüglich der Messrate und Messdynamik ($DR > 122$ dB) deutlich vom Stand der Technik ab, da bei sämtlichen veröffentlichten EIT-Systemen die Systemanregung mittels eines seriellen Zeitmultiplexverfahrens durchgeführt wird. Hierbei ist eine Steigerung der Messrate ausschließlich durch eine Verringerung der Messdauer für jeden Anregungsschritt möglich, was in einer Reduktion der Messdynamik resultiert.

Die Forderung eines parallelen Systemdesigns wurde bei beiden Systemen sowohl bei den analogen als auch digitalen Komponenten konsequent umgesetzt. Zur Systemanregung wurden parallele geregelte Quellen entwickelt (differentielle Stromquellen und 50V-Spannungsquellen). Die Strom- und Spannungsmessungen erfolgen durch unabhängige rauscharme Messkanäle. Zur schnellen digitalen Signalverarbeitung wurde ein Multi-FPGA-Konzept realisiert, bei dem eine dezentrale Messdatenauswertung mittels angepasster Filterung implementiert wurde.

Um systematische Messfehler zu korrigieren, wurde für das kapazitiv gekoppelte EIT-System ein Kalibrierverfahren entwickelt und mittels eines schaltbaren Kalibrierstandards, der in den Sensor eingelassen wird, erprobt. Hierbei zeigte sich, dass durch die Kalibrierung systematische Fehler deutlich reduziert und somit eine orts aufgelöste quantitative Materialanalyse ermöglicht wird.

Die Leitfähigkeitsrekonstruktion wurde für beide Messsysteme anhand von diskreten dielektrischen Phantomen validiert. Hierbei wurden auch die Auswirkungen der unterschiedlichen Vielfachanregungsverfahren untersucht. Dabei konnten keine Einschränkungen durch die parallelen Anregungsverfahren hinsichtlich der Auflösung der rekonstruierten Leitfähigkeitsverteilung beobachtet werden. Für konstante Messszenarien wurde eine Abweichung von unter 1.5 % zwischen den rekonstruierten Leitfähigkeitsverteilungen, basierend auf den unterschiedlichen Vielfachanregungsverfahren, bestimmt.

Zusätzlich wurde ein Drei-Phasen-Durchflussmessstand realisiert, der eine Erprobung der Messsysteme bei definierten Mehrphasenströmungen bestehend aus Öl, Wasser und Gas mit einem maximalen Volumendurchfluss von bis zu 16000 l/h ermöglicht.

Anhand von Experimenten am Drei-Phasen-Durchflussmessstand konnte die gute Eignung des entwickelten kapazitiv gekoppelten EIT-Systems für die Bestimmung der Fluidverteilung einer Mehrphasenströmung bestehend aus Öl, Wasser und Gas gezeigt werden. Neben dem Anwendungsfeld in der Petroindustrie wurde das Potential der Messverfahren für die Prozessindustrie durch die Visualisierung eines Mischprozesses mittels des galvanisch gekoppelten EIT-Systems gezeigt.